

中密度纤维板/橡胶阻尼层状夹心复合材料的力学与隔声性能

刘美宏, 彭立民, 傅峰, 王东, 宋博骐

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 将中密度纤维板与橡胶材料层合制备成层状夹心复合材料, 并优化其制备工艺。结果表明: 涂胶量对复合材料的弹性模量 (MOE)、弯曲强度 (MOR)、内结合强度 (IB) 具有极显著影响, 热压压力对 MOE、MOR 影响极显著、对 IB 影响较小; 热压时间对 MOE、MOR 的影响显著。随着涂胶量增加, 复合材料的隔声性能提高; 热压压力过大将导致橡胶厚度变薄, 隔声性能降低。优化工艺条件下得到的层状夹心复合材料的隔声性能优于同等厚度 MDF。

关键词: 中密度纤维板; 橡胶阻尼材料; 层状夹心复合材料; 力学性能; 隔声性能

中图分类号: TS653.6; TU112.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 03-0022-05

Mechanical Properties and Sound Insulation Performance of Sandwich Composites Made from MDF and Rubber Damping

LIU Mei-hong, PENG Li-min, FU Feng, WANG Dong, SONG Bo-qi

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Laboratory of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Medium density fiberboards (MDF) were laminated to a rubber damping core layer on both sides to make a sandwich composite. Testing results showed that resin consumption had a significant effect on elastic modulus (MOE), bending strength (MOR) and internal bonding strength (IB) of the composite. Hot pressing pressure and time affected MOE and MOR significantly. Sound insulation performance improved by increasing resin consumption. However, the sound insulation performance was negatively affected if the hot pressing pressure was too high, since that decreased the thickness of the rubber damping layer. Sound insulation performance of the composites made by optimized technology was better than that of MDF with the same thickness.

Key words: medium density fiberboard; rubber damping material; sandwich composite; mechanical property; sound insulation performance

噪声污染已被列为世界四大污染之一, 控制噪

声有效的方式是降低噪声和隔离噪声, 吸声与隔声材料至关重要^[1]。单层匀质木质材料的隔声性能较差, 提高其隔声性能的传统方法是增加材料的面密度及厚度, 既不经济, 又给加工利用带来不便。

新型隔声材料向着质量轻、厚度薄、隔声性能好的方向发展^[2]。将单层匀质材料与阻尼材料复合,

收稿日期: 2016-12-27; 修改日期: 2017-04-05

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“木质隔声和发热新材料制造关键技术与示范”(2015BAD14B04)。

作者简介: 刘美宏 (1992—), 女, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

责任作者: 彭立民, 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

是提高单层材料隔声性能、并拓宽材料使用范围的有效方法之一^[3]。如以金属材料为表板、橡胶板为芯层组成的多层复合材料，解决了橡胶材料不能单独作为结构板材的问题，且复合板材的隔声性能优于同等厚度的金属板^[4]。合理地选择表板及芯层材料，可以有效地提高复合材料的隔声性能^[5-6]。复合材料的隔声性能除了受材料的面密度、弹性模量等影响外，还受材料的硬度和阻尼性能的影响^[7]。

对于阻尼复合结构，目前的研究多是针对金属阻尼复合结构^[8]，木质阻尼多层复合结构系统的研究较少^[9]。笔者结合木质人造板的复合工艺，通过将木质材料与橡胶材料复合，并优化工艺，制备隔声性能与力学性能兼优的复合材料，为木质阻尼复合材料的开发研究及应用提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

中密度纤维板 (MDF): 密度 650 g/m^3 , 厚度 6 mm, 含水率为 4.5%, 外购。

阻尼橡胶 (R): 密度 2.3 g/cm^3 , 厚度 1.2 mm; 能承受的温度范围为 $-20 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$, 外购。

异氰酸酯胶 (MDI): 黄色液体, 黏度 $27.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$), 固体含量 (100%), 外购。

1.2 主要设备及仪器

阻抗管测试系统, 热压机, 万能试验机等。

1.3 试验方法

按照设计的热压工艺, MDF 与橡胶复合试样的结构如图 1 所示。

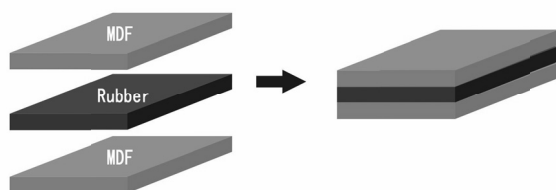


图 1 复合试样结构

Fig.1 Structure of sandwich composite

前期预试验发现, 涂胶量及热压工艺参数对复合材料的力学性能与隔声性能均有影响。考虑到橡胶材料能承受的最高温度为 $100 \text{ }^\circ\text{C}$, 为了保持其性能, 设置热压温度为 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 。热压压力过大时, 橡胶材料会向四周伸展, 厚度变薄而发生变形; 反之,

压力过小时, MDF 与橡胶材料不能紧密结合, 易出现表板脱落现象。热压时间直接影响异氰酸酯胶的固化程度。涂胶量影响复合材料的胶合强度。

试验分两步进行: 1) 以涂胶量、热压时间、热压压力 3 个因子, 进行全因子试验 (表 1), 以力学性能为评价指标, 优化工艺参数; 2) 采用单因子试验, 验证工艺参数对材料隔声性能的影响。

表 1 试验因素与水平

Tab.1 Experimental factors and levels

水平	因素		
	涂胶量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	热压时间/min	热压压力/MPa
1	32	5	3
2	64	10	5
3	96	15	-

1.4 性能测试

按照 GB/T 11718-2009 《中密度纤维板》, 测试复合材料的弹性模量 (MOE)、弯曲强度 (MOR)、内结合强度 (IB); 按照 GB/T 17657-2013 《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》II 类条件, 测试浸渍剥离性能。

按照 GB/Z 27764-2011 《声学 阻抗管中传递损失的测量传递矩阵法》, 利用阻抗管法进行隔声性能测试。四通道声学分析仪测试条件: 大气温度 $22 \text{ }^\circ\text{C}$, 相对湿度 50%, 声速 343.237 m/s ; 空气特征阻抗 $412.568 \text{ Pa}\cdot\text{s/m}$ 。

2 结果与分析

2.1 力学性能

复合材料的力学性能测试结果列于表 2。

表 2 层状夹心复合材料的力学性能

Tab.2 Mechanical Properties of sandwich composites

序号	涂胶量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	时间/ min	压力/ MPa	IB/ MPa	MOR/ MPa	MOE/ MPa
1	32	5	3	0.85	28.4	3 290
2	64	5	3	1.31	30.9	3 448
3	96	5	3	1.51	28.1	3 121
4	32	5	5	1.44	30.9	3 577
5	64	5	5	1.16	32.9	3 589
6	96	5	5	1.25	32.8	3 606
7	32	10	3	1.29	29.7	3 527
8	64	10	3	1.24	30.9	3 491

续表						
9	96	10	3	1.59	32.6	3 555
10	32	10	5	1.24	35.7	3 818
11	64	10	5	1.33	34.8	3 851
12	96	10	5	1.24	35.7	3 818
13	32	15	3	1.11	31.5	3 522
14	64	15	3	1.48	33.0	3 576
15	96	15	3	1.24	30.7	3 363
16	32	15	5	1.25	30.8	3 469
17	64	15	5	1.41	34.5	3 607
18	96	15	5	1.31	34.4	3 639

表3 MOE 方差分析及显著性检验

Tab.3 Analysis of variance and MOE significance test for sandwich composites

因子	III 型平方和	自由度	均方	F 值	显著性
时间	1215926.302	2	607963.151	28.701	0.000
压力	1684800.794	1	1684800.794	79.538	0.000
涂胶量	136654.540	2	68327.270	3.226	0.044
时间*压力	338067.254	2	169033.627	7.980	0.001
时间*涂胶量	115217.175	4	28804.294	1.360	0.253
压力*涂胶量	190181.016	2	95090.508	4.489	0.013
时间*压力*涂胶量	237827.651	4	59456.913	2.807	0.029
误差	2287691.429	108	21182.328		
总计	12139.951	126			
校正总计	6206366.159	125			

注: $R^2=0.631$ (调整 $R^2=0.573$)。

表4 MOR方差分析及显著性检验

Tab.4 Analysis of variance and MOR significance test for sandwich composites

因子	III 型平方和	自由度	均方	F 值	显著性
时间	144.191	2	72.096	20.563	0.000
压力	281.703	1	281.703	80.347	0.000
涂胶量	62.822	2	31.411	8.959	0.000
时间*压力	44.213	2	22.107	6.305	0.003
时间*涂胶量	37.960	4	9.490	2.707	0.034
压力*涂胶量	11.543	2	5.772	1.646	0.198
时间*压力*涂胶量	52.165	4	13.041	3.720	0.007
误差	378.654	108	3.506		
总计	131140.400	126			
校正总计	1013.252	125			

注: $R^2=0.626$ (调整 $R^2=0.567$)。

方差分析结果表明,热压工艺参数对复合材料的力学性能存在交互作用,因此采用SPSS的Partial过程对变量进行偏相关分析,结果列于表6。

• 24 •

表5 IB方差分析及显著性检验

Tab.5 Analysis of variance and IB significance test for sandwich composites

因子	III 型平方和	自由度	均方	F 值	显著性
时间	0.087	2	0.043	6.716	0.002
压力	0.000	1	0.000	0.017	0.896
涂胶量	0.514	2	0.257	39.723	0.000
误差	0.582	90	0.006		
总计	182.849	108			
校正总计	3.358	107			

注: $R^2=0.827$ (调整 $R^2=0.794$)。

表6 层状夹心复合材料力学性能的偏相关分析

Tab.6 Partial correlation analysis of mechanical properties for sandwich composites

控制变量	力学性能	相关性	显著性 (双侧)	自由度
涂胶量	MOE	0.869	0.000	122
	MOR	0.824	0.000	122
	IB	0.896	0.000	104
热压时间	MOE	0.196	0.029	122
	MOR	0.312	0.000	122
	IB	0.112	0.252	104
热压压力	MOE	0.529	0.000	122
	MOR	0.555	0.000	122
	IB	0.006	0.949	104

2.1.1 涂胶量的影响

表3、4和5结果显示,涂胶量对复合材料MOE、MOR、IB的影响极为显著;表6表明,涂胶量与复合材料的MOE、MOR、IB之间均具有极强相关性。

随着涂胶量增加,MDF与阻尼材料之间有更多的胶黏剂作用,两者的胶合强度随之增加。但当涂胶量过大时,胶合界面形成过厚的胶层,复合材料的韧性变差,力学性能随之下降。

2.1.2 热压时间的影响

表3、4和5结果显示,热压时间对复合材料的MOE、MOR、IB具有显著影响;但从表6相关系数可知,热压时间对此3项力学性能指标的正相关程度为弱或极弱。在本试验范围内,复合材料的MOR、MOE和IB随热压时间的延长而增大,但增幅较小,其原因可能是:

受橡胶阻尼材料能承受的温度限制,热压温度仅为100℃,低于异氰酸酯胶的常规固化温度150~160℃,不利于异氰酸酯胶的充分固化。但是,延长

热压时间, 压力的传递和热量的传导逐渐增强, 可以促进异氰酸酯的固化^[10-11], 材料界面之间的胶合强度增大, 使得复合材料的 MOE、MOR、IB 提升。

2.1.3 热压压力的影响

热压压力对复合材料 MOE、MOR 的影响极为显著(表 3~表 5), 正相关程度均为中等(表 6); 而对 IB 为显著影响, 两者之间无正相关性。

随着热压压力的增加, MDF 与橡胶之间紧密贴合, 因此复合材料的 MOE、MOR 提高。但压力过大, 易导致橡胶材料厚度变薄向四周伸展; 压力过小时, MDF 与橡胶材料不能紧密贴合, 出现表板脱落现象。

复合材料主要用作隔声门表面, 在常温下使用。按 GB/T 17657-2013 II 类条件进行浸渍剥离测试, 所有试样均未出现开裂和分层现象。因此, 以满足力学性能为前提, 以降低成本、提高生产效率为目标, 综合考虑, 确定复合材料的优化工艺参数为: 涂胶量 32 g/m²、热压时间 5 min, 热压压力 3 MPa。

2.2 隔声性能

按优化的工艺参数, 保持其中两个参数不变, 再进行单因子试验, 验证工艺参数对复合材料隔声性能的影响。

2.2.1 涂胶量的影响

图 2 所示 3 条曲线为固定热压时间 5 min、压力 3 MPa, 涂胶量分别为 32、64、94 g/m² 时, 复合材料的隔声性能测试结果。

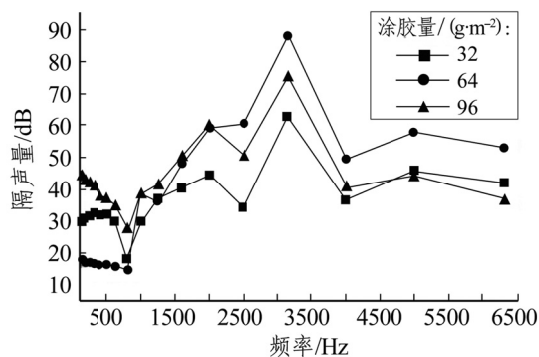


图 2 不同涂胶量层状夹心复合材料的隔声性能

Fig.2 Sound insulation performance of sandwich composites made with different resin consumptions

3 种板材的面密度分别为 1 599、1 634、1 706 g/m², MOR 分别为 3 820、3 850、3 870 MPa。随着涂胶量的增加, 材料的面密度增加, 隔声性能增强。

在中低频段, 复合材料的隔声量随着涂胶量的增加而增加; 到达高频段时, 以涂胶量为 64 g/m² 时, 复合材料的隔声性能最佳。另外, 复合材料的弹性模量越高, 其抵抗声波引起的振动弯曲能力越强, 隔声性能越强。

2.2.2 热压时间的影响

图 3 所示 3 条曲线为固定热压压力 3 MPa、涂胶量为 64 g/m², 热压时间分别为 5、10、15 min 时, 复合材料的隔声性能测试结果。

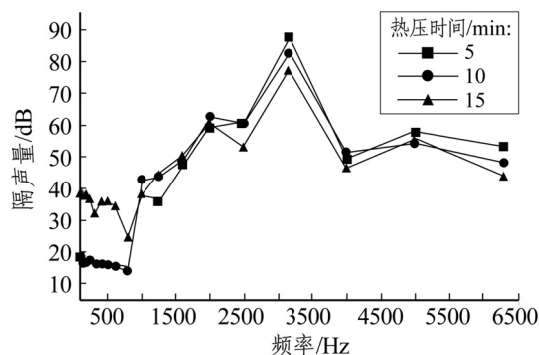


图 3 不同热压时间条件下层状夹心复合材料的隔声性能

Fig.3 Sound insulation performance of sandwich composites made with different hot pressing time

表 4 显示, 3 条曲线的变化趋势趋于一致, 说明热压时间对复合材料的隔声性能影响较小。热压时间的长短主要影响复合时异氰酸酯的固化程度, 影响材料的力学性能。

2.2.3 热压压力的影响

图 4 所示 4 种试样的制备参数分别为: A、B 固定热压时间 5 min, 涂胶量 32 g/m², 压力分别为 3、5 MPa; C、D 固定热压时间 10 min, 涂胶量 64 g/m², 压力分别为 3、5 MPa。

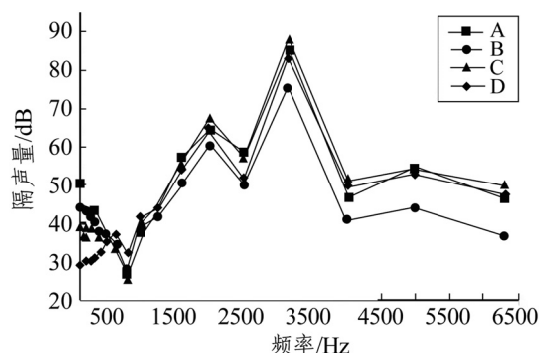


图 4 不同热压压力条件下层状夹心复合材料的隔声性能

Fig.4 Sound insulation performance of sandwich composites made with different hot pressing pressure

从图4中可以看出,压力3 MPa时,试样的隔声性能相对较好,平均隔声量为35.6 dB。其原因是在此压力条件下,MDF与阻尼材料紧密结合,夹心层不会因为压力过大而产生变形。

随着压力的增加,试样的隔声性能并没有随之增加。5 MPa压力下制备的复合材料的平均隔声量为33.9 dB,其整体厚度比3 MPa压力制备复合材料的略微变薄,阻尼材料略微变形,导致其隔声量变小。

2.2.4 隔声性能验证

结合复合材料隔声性能的检测结果,进一步优化工艺参数为:涂胶量 64 g/m^2 ,热压压力3 MPa,热压时间10 min。按此条件制备的复合材料试样(MDF/R),其与MDF、橡胶材料(R)的隔声性能比较,如图5所示。

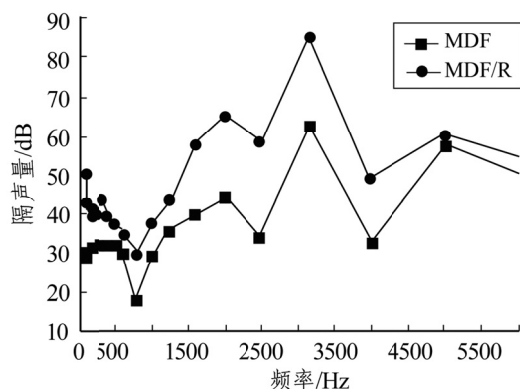


图5 基材以及层状夹心复合材料的隔声性能

Fig.5 Sound insulation performance of MDF substrate, rubber and composite materials

图5结果表明,复合材料的隔声性能优于同等厚度的单一的MDF。复合材料既拥有木质材料的优点,又弥补了木质材料隔声性能差的不足。

3 结论

1) 木质材料与阻尼橡胶利用异氰酸酯胶黏剂进行层合制备层状夹心复合材料,在一定的涂胶量、热压时间与压力条件下是可行的。

2) 根据本试验结果,确定此层状夹心复合材料制备的优化工艺参数为:涂胶量 64 g/m^2 ,热压压力3 MPa,热压时间10 min;在此条件下制备的复合材料的力学性能指标仍满足GB/T 11718-2009中MDF-GP REG的性能要求,且隔声量达到45 dB,力学性能及隔声性能均达到最佳。

参考文献:

- [1] 刘美玲. 环境噪声污染的危害与防控[J]. 科技资讯, 2011 (15): 158.
- [2] 宋博骥, 彭立民. 木质材料隔声性能研究[J]. 木材工业, 2016, 30 (3): 33-37.
- [3] 陆刚, 余红伟, 魏微, 等. 阻尼-隔声复合应用于噪声控制方面的研究进展[J]. 广东化工, 2016, 43 (7): 91-92.
- [4] 潘涵. 聚氯乙烯基复合材料的层合结构对隔声性能的影响[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.
- [5] J J Sargianis, H I Kim, E Andres, et al. Sound and vibration damping characteristics in natural material based sandwich composites[J]. Composite Structures, 2013, 96 (3): 538-544.
- [6] 宋继萍, 邓晓平, 蒋丁山, 等. 阻尼隔声板在噪声控制工程上的应用[J]. 中国环保产业, 2012 (6): 37-39.
- [7] 王康乐, 温华兵, 陆金铭, 等. 橡胶芯夹层板隔声特性研究[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34 (2): 192-195.
- [8] Ng C F, Hui C K. Low frequency sound insulation using stiffness control with honeycomb panels[J]. Applied Acoustics, 2008, 69 (4): 293-301.
- [9] A Tadeu, J António, D Mateus. Sound insulation provided by single and double panel walls: a comparison of analytical solutions versus experimental results[J]. Applied Acoustics, 2004, 65 (1): 15-29.
- [10] 李雪菲, 任从蓉. 桉木板/聚丙烯膜复合材料的制备工艺及力学性能[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43 (2): 87-90.
- [11] 赵方, 程海涛, 张双保. 竹粉/高密度聚乙烯(HDPE)复合材料的热压工艺研究[J]. 木材加工机械, 2012 (2): 14-18.

(责任编辑 向琴)

行业简讯

国标《细木工板》和《集装箱底板用胶合板》宣贯

近日, GB/T 5849-2016《细木工板》和 GB/T 19536-2015《集装箱底板用胶合板》宣贯会在厦门召开。来自企业、质检和科研等单位的80名代表参会。

会议特邀 GB/T 5849-2016和 GB/T 19536-2015的主要起草人, 分别对两项标准进行了详细解读和答疑; 厦门市产品质量监督检验院的专家, 做题为

“中国细木工板产品质量分析”的报告。

全国人造板标准化技术委员会为 GB/T 5849-2016的起草单位和起草人, 颁发了标准制修订工作证书。此次宣贯有助于质检、商检和企业等单位准确理解和掌握新标准的内容, 对两项新标准的执行, 起到了积极的推动作用。

安鑫